CARACTERIZAÇÃO PLUVIAL DA BAIXADA SANTISTA COMO SUBSÍDIO À PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

Gustavo ARMANI [1]
Renato TAVARES [2]
Bárbara Nazaré ROCHA [3]

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização detalhada da pluviosidade na Baixada Santista e associá-la aos movimentos gravitacionais de massa registrados pelo Plano Preventivo de Defesa Civil específicos para os escorregamentos de encosta da Serra do Mar (PPDC). Desta forma, pretende-se contribuir para as ações da Defesa Civil na prevenção de desastres naturais nos municípios da Baixada Santista, bem como para uma melhor compreensão das variações espaciais e temporais da chuva e da importância dela nos processos morfogenéticos. Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se os dados dos postos pluviométricos do DAEE e da EMAE localizados na baixada e áreas limítrofes. A partir deles foram obtidos parâmetros estatísticos básicos (média, covariância, desvio padrão, amplitude, tempo de retorno, freqüência), tendo sido produzidos mapas e gráficos de chuva de várias escalas temporais (anual, sazonal, mensal, diário). Relacionou-se os registros de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa com os totais pluviométricos acumulados de 24 e 72 horas e os sistemas atmosféricos atuantes nestes eventos, bem como com o Índice de Oscilação Sul (IOS). Os resultados obtidos revelam que a maioria dos registros dos movimentos de massa ocorreu sob chuva acumulada de 100mm/72h (82% dos casos). A análise dos padrões habituais de chuva revela que esse total é freqüentemente atingido, em praticamente todos os anos durante o verão.

INTRODUÇÃO

Pesquisas anteriores correlacionando chuvas e escorregamentos (TAVARES et al, 2005, TAVARES et al, 2004) revelaram que ainda existe a necessidade de se conhecer melhor a realidade da variação espacial e temporal da chuva a fim de promover melhores informações climáticas para o planejamento urbano e planejamento de ações preventivas a desastres naturais, notadamente os movimentos gravitacionais de massa.

Desta forma, o que se pretende com este artigo é iniciar uma caracterização pluvial detalhada da Baixada Santista, de modo que ela possa contribuir para a prevenção de desastres naturais, com enfoque nos movimentos gravitacionais de massa, quer seja na tomada de decisões emergenciais, ou como proposta coerente de ocupação e uso do solo a longo prazo, por meio de estudos de planejamento urbano, ambiental e territorial.

A Baixada Santista, composta pelos municípios de Cubatão, Guarujá, Santos e São Vicente representa uma realidade interessante para a realização deste estudo, pois que as características ambientais associadas com sua história social conduzem a uma área crítica e suscetível aos movimentos gravitacionais de massa. As características geológicas, pedológicas, geomorfológicas e fitosociológicas deste lugar criam mosaicos de combinações bastante variáveis em toda sua extensão. Aliando-se a esses fatos, a complexidade da

[1] Instituto Geológico / Secretaria Estadual do Meio Ambiente - SP, Pesquisador Científico, gustavo@igeologico.sp.gov.br
[2] Instituto Geológico / Secretaria Estadual do Meio Ambiente - SP, Pesquisador Científico, renato@igeologico.sp.gov.br
[3] Departamento de Geografia / FFLCH / USP, Estagiária de Geografia da Seção de Hidroclimatologia do Instituto Geológico, ba_rocha@hotmail.com

variação espacial e temporal da chuva produzem possibilidades inúmeras de ocorrências de desastres naturais, tais como os diversos tipos de movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos, rolamento de blocos, corridas de lama) e as inundações. Evidentemente o quadro natural já apresenta uma suscetibilidade elevada a estes desastres em função das combinações e complexidade de relações existentes entre os elementos da natureza. O fato se torna mais complicado quando a sociedade, desenvolvida sob o modelo capitalista de produção social do espaço, ocupa estas áreas naturalmente frágeis. As contradições implícitas e explícitas embutidas neste modelo econômico adotado pelo Brasil condicionam diversos problemas à sociedade e ao ambiente em que vivem. As mazelas sociais da realidade em análise intensifica-se pela constante presença de perigos "naturais" intensificados pela forma como a sociedade se organiza neste espaço geográfico. Vale ressaltar que a chuva é apenas um dos elementos deflagradores dos movimentos de massa, e não a causa. Essa, na maioria das vezes, está mais relacionada à forma de ocupação das áreas ambientalmente frágeis.

A figura 1 ilustra a localização da área de estudo. Nesta figura percebe-se bem as formas do relevo, a vegetação (em verde) as áreas urbanas (em rosa).

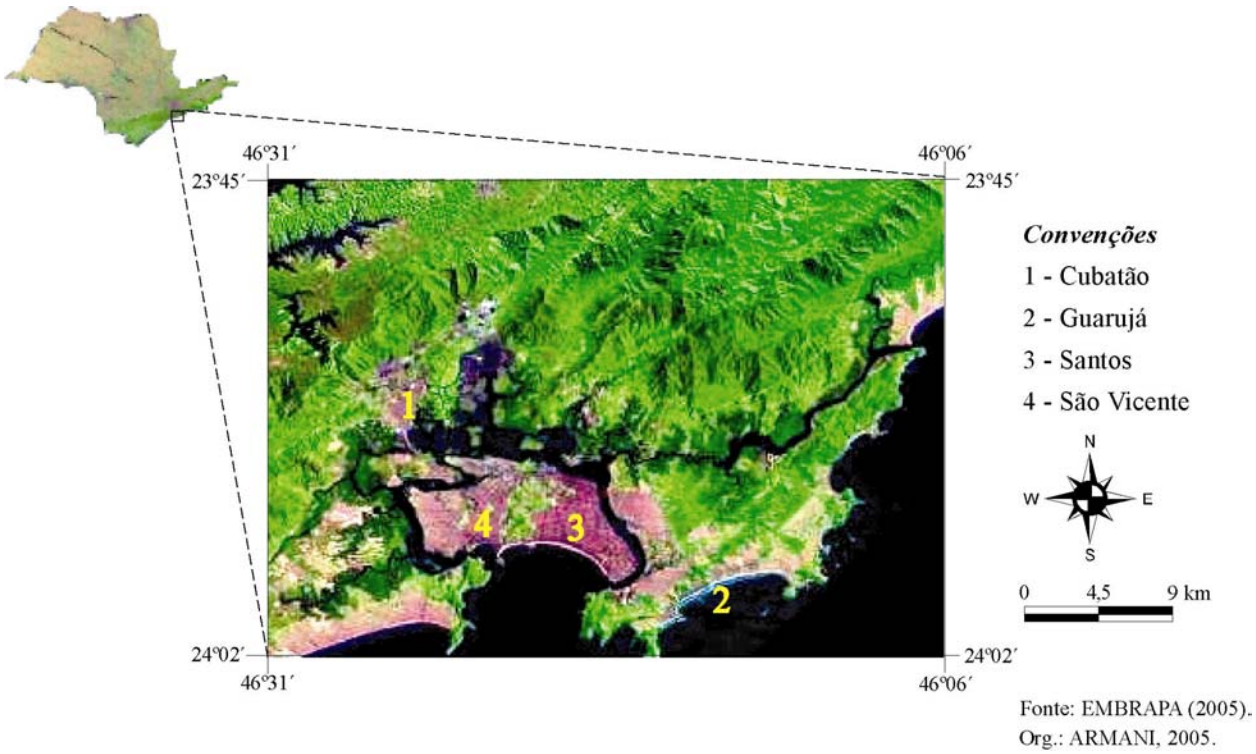


Figura 1. Localização da área de estudo

O relevo desta área pode ser subdividido em três grandes compartimentos: a planície litorânea, a serra do Mar e o planalto (reverso da serra). A planície é composta por sedimentos marinhos e fluviais inconsolidados, sendo que predominam altitudes entre 0 a 10 metros. Ressaltando-se na paisagem da planície existem os morros isolados da Baixada, compostos por rochas cristalinas, cuja amplitude altimétrica não ulrapassa 200 metros. O solo destas áreas são predominantemente espodossolos. A planície é uma área preferencial para a ocorrência de inundações, e é a mais ocupada pela sociedade. Na serra do Mar as altitudes atingem 900 metros e as declividades são em geral elevadas (30º). O alinhamento da serra segue a direção Brasileira (SW-NE) e foi condicionado por uma série de falhamentos. Ele é perpendicular ao escoamento preferencial da baixa troposfera, favorecendo o desenvolvimento de nuvens e precipitações orográficas. No planalto as altitudes diminuem lentamente em direção ao inteiror, oscilando entre 800 e 720 metros de altitude. O planalto e a serra são compostos pelo embasamento cristalino, que neste trecho apresentam uma combinação bastante variada de rochas. O solo predominante nestes dois compartimento é o cambissolo.

Segundo AB'SABER (2003), a história fisiográfica da baixada e do arquipélago santista vicentino inclui numa primeira fase a tectônica que rebaixou os terrenos insulares durante o soerguimento e arqueamento do Planalto Atlântico. Em segundo lugar, inclui tectônica rúptil localizada que responde pela frente dos esporões da serra e por setores irregulares do eixo geral do Canal de Bertioga. Tanto ao oeste quanto ao nordeste, existem drenagens orientadas por linhas de falhas interpostas entre os esporões das grandes escarpas e os terrenos baixos de variada constituição sedimentar, ora representados por vales de linha de falha, ora sublinhados pela submersão que respondeu pela gênese do canal de Bertioga.

A classificação climática do Estado de São Paulo definida por MONTEIRO (1973) destaca a área central da zona costeira como uma grande unidade regional, de clima úmido da face oriental e subtropical do continente Sul Americano, dominado pelo sistema tropical. O trecho costeiro serrano ao sul da ilha de São Sebastião apresenta crescente aumento da participação do Sistema Polar segundo o aumento de latitude, e um teor de pluviosidade bem mais elevado que aquele do litoral norte em alguns trechos. O aumento da pluviosidade não segue a latitude, mas antes a disposição do relevo e orientação da costa em relação às correntes da circulação atmosférica regional. Nas imediações de Santos a serra aproxima-se da linha de costa, enquanto a direção desta, daí para a ilha de São Sebastião, quase que passaria a oeste-leste não fosse sua disposição em arco. A elevação e proximidade da serra, aliada à direção oponente às correntes perturbadas do sul, faz com que este trecho central do litoral paulista seja a área de maior pluviosidade não só do Estado, mas talvez do país. Enquanto o setor meridional exibe índices anuais entre 1500 e 2000mm, neste trecho eles são superiores a este último valor e atingem por vezes 4500mm, como no vale do Itapanhaú.

A figura 2 ilustra a localização dos movimentos de massa do período 1991-2004 registrados e a localização dos postos pluviométricos utilizados para correlação da chuva com os eventos. Segundo observações de campo e dos relatórios da defesa civil pode-se dizer que os movimentos de massa estão localizados preferencialmente em áreas de morros ou de serra com ocupação relativamente densa, com pouca infra-estrutura, e padrão construtivo baixo. Entrementes, isso ainda precisa ser melhor pesquisado.

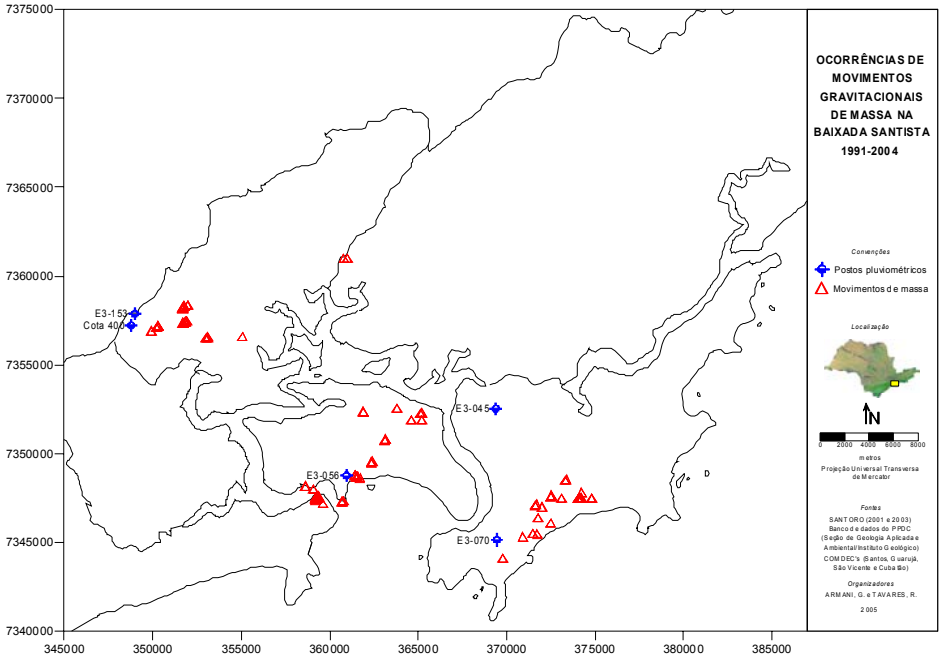


Figura 2. Localização das ocorrências dos movimentos de massa e postos pluviométricos utilizados para a correlação chuva x movimentos de massa

MÉTODOS e TÉCNICAS

Os estudos de correlação entre chuvas intensas e escorregamentos no litoral paulista começaram a partir de 1960. GUIDICINI & IWASA (1972) demonstram a preocupação em definir um valor limite de chuva acima do qual seriam desencadeados os escorregamentos, destacando a importância da precipitação acumulada antecedente. TATIZANA et al (1987a; 1987b) propõem um coeficiente de precipitação crítica que considera a relação entre a precipitação acumulada antecedente, a intensidade horária da chuva e as características geotécnicas da área, como condicionantes favoráveis à deflagração dos escorregamentos.

A partir das ocorrências catastróficas do verão de 1987/1988 no litoral paulista, o governo estadual determinou a elaboração de um relatório sobre a instabilidade da Serra do Mar no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 1988b), com o objetivo de identificar as áreas ocupadas sob risco frente aos processos de instabilização, e a proposição de medidas de prevenção, redução e eliminação desses riscos. Os resultados alcançados subsidiaram a elaboração e implantação do Plano Preventivo de Defesa Civil específico para escorregamentos nas encostas da Serra do Mar – PPDC.

As ações previstas nesse plano estabelecem o acompanhamento diário da chuva durante os meses de verão, considerando basicamente dois indicadores: precipitação acumulada em 24 horas e 72 horas, e o cálculo do CCM - coeficiente de ciclo móvel - que mede a anomalia da precipitação frente à série histórica de chuva da área. Para os municípios da Baixada Santista (São Vicente, Santos, Guarujá e Cubatão) foi definido o total de 100 mm de chuva acumulada em até 72 horas, como limite para a mudança de nível operacional do PPDC, acima do qual aumenta a probabilidade de deflagração dos movimentos de massa (MACEDO et al, 1999).

Os dados referentes à ocorrência de processos de movimentos gravitacionais de massa que causaram vítimas ou expuseram a população a situações de risco na Baixada Santista foram extraídos do Cadastro de Eventos de Movimentos Gravitacionais de Massa (SANTORO, 2001 e 2003), dos registros e bancos de dados do Plano Preventivo de Defesa Civil –PPDC da Seção de Geologia Aplicada e Ambiental do Instituto Geológico. Dessa forma, foram levantadas as seguintes informações: município; coordenadas UTM do local onde ocorreu o evento; data da ocorrência; número de eventos em cada local; e tipo de movimento de massa que ocorreu. Foram avaliados 131 registros de ocorrências de movimentos de massa no período analisado.

Os vários tipos de instabilização que são verificados nessas vertentes podem ser classificados de diferentes formas, seja pelo tipo de material envolvido (solo: coluvionar, saprolítico etc; rocha: alterada, sã etc; depósitos de tálus; material rochoso com estruturas), seja pelo tipo de movimento de massa (escorregamento strictu-sensu, queda, rastejo etc), ou pela velocidade com que tais movimentos ocorrem. Neste trabalho os movimentos gravitacionais de massa foram agrupados em quatro tipos: escorregamentos, rolamento de bloco, corrida de lama e movimentos de massa mistos.

Os dados de chuva utilizados nessa pesquisa foram obtidos de 14 postos da rede pluviométrica do Estado de São Paulo, mantida pelo DAEE/CTH (www.sigrh.sp.gov.br), e 5 posto da Petrobrás (Cota 400), conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1. Postos pluviométricos utilizados na pesquisa

Entidade	Código do posto	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Altitude (m)
DAEE- CTH	E3-037	7369120	367541	820
	E3-038	7358812	359139	5
	E3-041	7358122	376128	200
	E3-042	7372956	384495	720
	E3-043	7350769	379584	3
	E3-045	7352525	369390	3
	E3-056	7348755	360944	10
	E3-070	7345143	369457	3
	E3-101	7357923	355763	6
	E3-106	7361883	384584	3
	E3-142	7372574	345000	840
	E3-149	7370918	362429	760
	E3-153	7357863	348975	500
	E3-228	7350515	352445	10
EMAE	P12-002	7360031	350367	730
	P6-205	7352930	363307	60
	P6-007	7360054	352630	11
	P6-006	7359584	351786	350
	P6-202	7356618	347573	110

Org.: ARMANI, 2005.

A análise pluviométrica parte do estudo elaborado por TAVARES et al (2003), que utilizaram a série temporal de 1971-1999 com o intuito de classificar regionalmente as unidades pluviais do litoral paulista, subsidiando a avaliação das situações de risco a movimentos de massa e inundação. Embora o estudo tenha se restringido ao Litoral Norte, os parâmetros estatísticos foram calculados para toda a zona costeira do Estado de São Paulo.

A metodologia de análise consistiu no tratamento estatístico dos dados em diversas escalas temporais: anual, sazonal, mensal e diária (acumuladas de 24 e 72 h). Foram realizados cálculos de tendência central (média aritmética), dispersão (desvios padrão e coeficientes de variação), probabilidade (tempo de recorrência ou período de retorno) e freqüência.

A variabilidade pluvial foi calculada a partir do coeficiente de variação mensal da chuva de cada posto, e a classificação de grandeza foi estabelecida a partir da análise desse parâmetro para todo o litoral. Assim, a variabilidade pluvial da Baixada Santista foi classificada considerando o contexto de toda a zona costeira paulista, e não somente entre os dados de sua região.

Para a caracterização sazonal foram considerados os seguintes períodos: verão - janeiro, fevereiro e março; outono - abril, maio e junho; inverno - julho, agosto e setembro; primavera - outubro, novembro e dezembro.

Buscando representar a evolução temporal das chuvas e sua distribuição espacial na Baixada Santista, adotou-se o critério de classificação de padrões habituais e excepcionais ou extremos proposta por SANT'ANNA NETO (1995), adaptado e aplicado em nível anual, sazonal e mensal, conforme segue:

padrão chuvoso: $\geq \left(\bar{P} + \sigma\right)$;

padrão tendente a chuvoso: $> \left(\bar{P} + \frac{1}{2}\sigma\right) < \left(\bar{P} + \sigma\right)$;

padrão habitual: $= \left(\bar{P} \pm \frac{1}{2}\sigma\right)$;

padrão tendente a seco: $< \left(\bar{P} - \frac{1}{2}\sigma\right) > \left(\bar{P} - \sigma\right)$;

padrão seco: $\leq \left(\bar{P} - \sigma\right)$.

Os cálculos do tempo de recorrência ou período de retorno foram realizados para chuvas acumuladas de 70, 80, 100 e 120mm em 24 h, e 80, 100, 120 e 150mm em 72 h, utilizando-se a equação de Chow-Gumbel (CHOW, 1953) para eventos extremos:

$$P(T) = \overline{P} + \sigma \cdot k(T)$$

sendo a média da amostra de eventos extremos, s o desvio-padrão desta mesma amostra e k o coeficiente de freqüência de Gumbel, que é função do período de retorno T (anos), dado por:

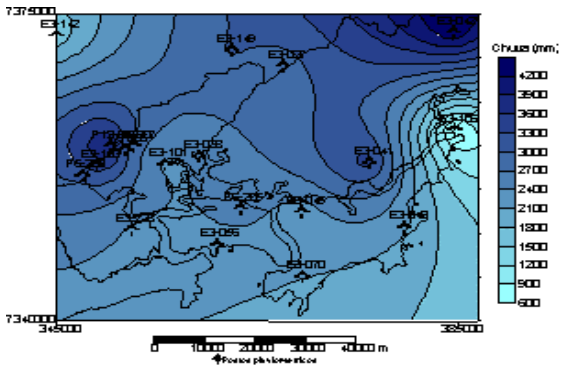
$$k(T) = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[0{,}577 + \ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)\right]$$

Os mapas foram produzindos no programa Surfer® 6.01 pelo método de krigagem, sendo que os traçados das isolinhas foram suavizados. Convém ressaltar que este método não relaciona o elemento mapeado com os outros elementos do espaço geográfico, notadamente a serra do Mar. Assim sendo, deve-se tomar com ressalva os traçados produzidos pelo programa, pois a densidade da rede de observação não é suficientemente densa para um traçado coerente com a realidade. Muitas vezes o traçado "ignora" a existência da serra do Mar nos cartogramas de pluviosidade, uma verdadeira eresia neste caso particular do estado de São Paulo.

A análise dos Sistemas atomsféricos atuantes nas ocorrências registradas de movimentos de massa foi feita com base nas cartas sinóticas e imagens de satélites das respectivas datas. O padrão de classificação adotado foi aquele utilizado pelo laboratório de Climatologia da USP conforme ARMANI (2004), TARIFA (1973; 1975), MONTEIRO (1969, 1973).

RESULTADOS

A análise da figura 3 revela que a média dos totais anuais de chuva da série 1971-1999 aumentam progressivamente da linha de costa até o topo da serra do mar, atingindo aí os máximos pluviais, e no reverso da serra, quando as altitudes diminuem lentamente, os totais reduzem paulatinamente. Desta forma fica evidente o papel da orografia intensificando a chuva nas vertentes da serra a barlavento do escoamento predominante da baixa troposfera (S, SE), e reduzindo os totais a sotavento, efeito conhecido na literatura como Fohen. O local mais chuvoso é a NE da área, no topo da serra do Mar, onde encontra-se algumas nascentes do rio Itapanhaú, cuja média dos totais anuais para o período trabalhado é de 4200 mm. Neste trecho do litoral paulista alia-se ao efeito orográfico uma maior freqüência do estacionamento do eixo da frente polar (FPA) e de atuação do seu eixo reflexo (OLIVEIRA, 1968; MONTEIRO, 1973). É interessante notar o papel do efeito orográfico nos totais anuais de chuva, ora reduzindo (efeito Fohen) como nos postos E3-101 (uma planície envolvida por morros) e E3-106 (planície marinha atrás de um maciço costeiro), ora intensificando os totais, como no posto E3-041, que está num topo de um esporão da serra do Mar que avança sobre a planície marinha. Cabe ressaltar o papel do oceano Atlântico na transferência de calor e umidade para a atmosfera adjascente e da proximidade dele com a serra. Essa condição de serra certamente não proporcionaria o mesmo efeito nos totais pluviométricos se o oceano não estivesse próximo à ela e se ele não fosse banhado por correntes quentes, como a do Brasil, cujas temperaturas são frequentemente superiores a 20ºC.



Org.: ROCHA & ARMANI, 2005.

Fonte: DAEE-CTH

Figura 3. Variação espacial da média dos totais anuais pluviais na Baixada Santista da série 1971-1999.

Na figura 4 observa-se a variação média anual da série 1971-1999. Em praticamente todos os meses é possível notar a influência orográfica aumentando os totais pluviais da linha de costa até os topos da serra do Mar (orientação geral SW-NE), sendo que no planalto os totais reduzem progressivamente (posto E3-142). Mesmo nos meses menos chuvosos os totais mensais na serra do Mar, ao redor do posto E3-153, os totais são mais elevados que na planície e no reverso da serra. É nesta área que estão localizados os "bairros cota" e as pistas da Rodovia Anchieta e que, por este fato, merece atenção para a prevenção de desastres naturais (escorregamentos), mesmo nos meses habitualmente menos chuvosos. Por este conjunto de cartogramas percebe-se que na média os meses de verão são os mais chuvosos, e os de inverno o contrário, como era de se esperar. O predomínio dos sistemas atmosféricos estáveis como o Sistema Tropical Atlântico (STA), o Sistema Polar Atlântico (SPA) e o Sistema Polar Continental (SPC) condicionam de certa forma essa redução nos totais pluviais. O STA, que apresenta maiores temperaturas, e que por isso pode conter maior umidade absoluta, pode promover chuvas orográficas quando interage com a serra do Mar e com o oceano Atlântico, apesar da estabilidade atmosférica inerente aos anticiclones.

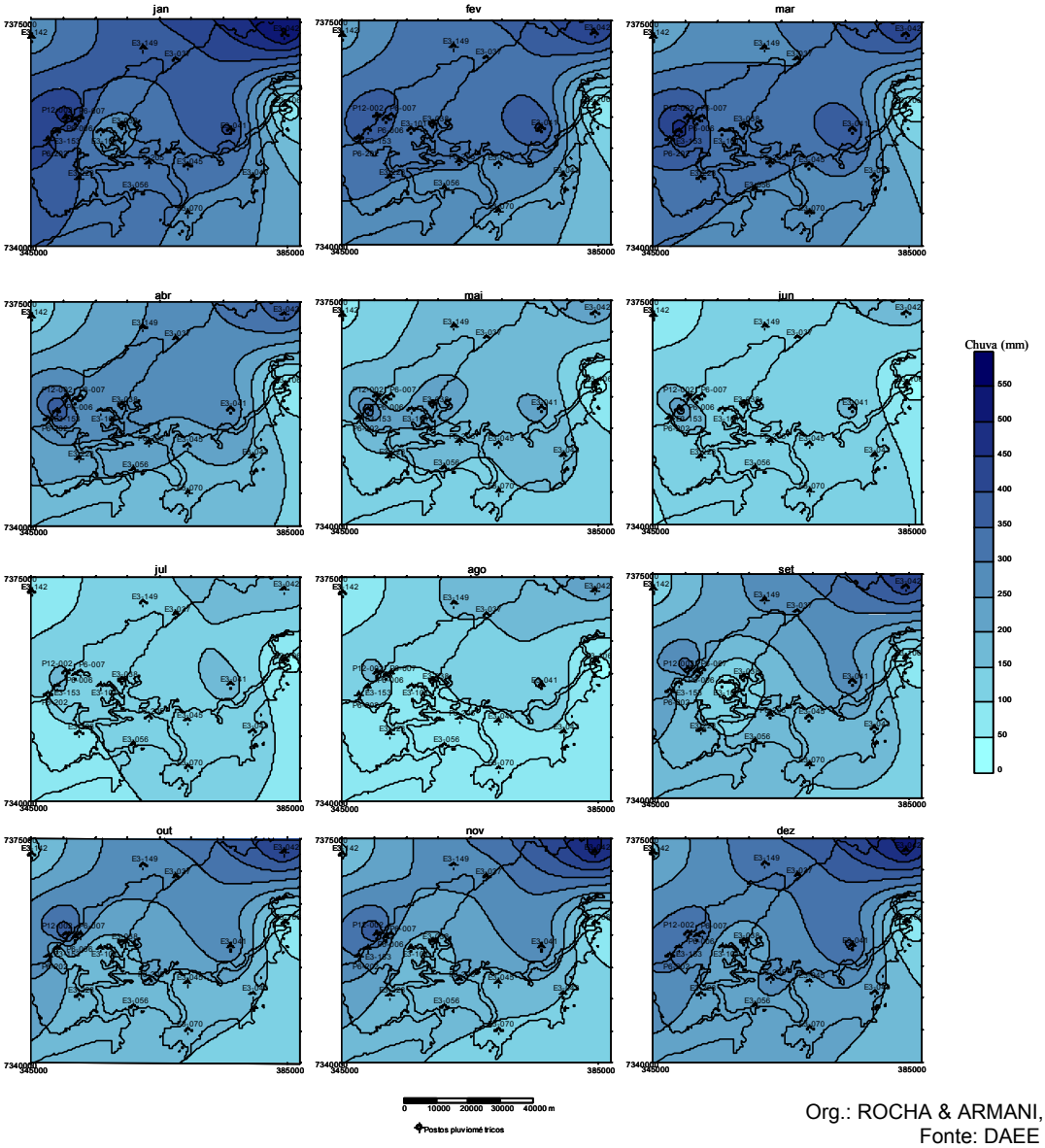


Figura 4. Variação espacial das médias dos totais mensais pluviais na Baixada Santista da série 1971-1999.

A análise dos máximos mensais da série 1971-1999 revela o potencial pluvial de um mês para os lugares (figura 5). É um parâmetro fundamental a ser considerado no planejamento urbano e no planejamento de ações preventivas a desastres naturais. Assim, num único mês, nas nascentes do rio Itapanhaú chegou a chover mais de 1300 mm, sendo a área mais chuvosa do Estado de São Paulo e talvez do Brasil. Em termos comparativos, esse total acumulado de um mês é próximo do que chove habitualmente em um ano na cidade de São Paulo, situada a poucas dezenas de quilometros deste lugar. Na serra do Mar, tomada em conjunto, os máximos mensais são superiores a 700 mm. As áreas situadas em sombra de chuva (a sotavento do escoamento predominante da baixa troposfera) (P6-209; E3-106) têm os máximos mensais inferiores às áreas serranas e a barlavento, mas mesmo assim os máximos mensais são significativos (entre 400 e 200 mm). Nas ilhas de Santo Amaro e São Vicente predominam totais em torno de 600 mm e 500 mm, assim como no reverso da serra do Mar.

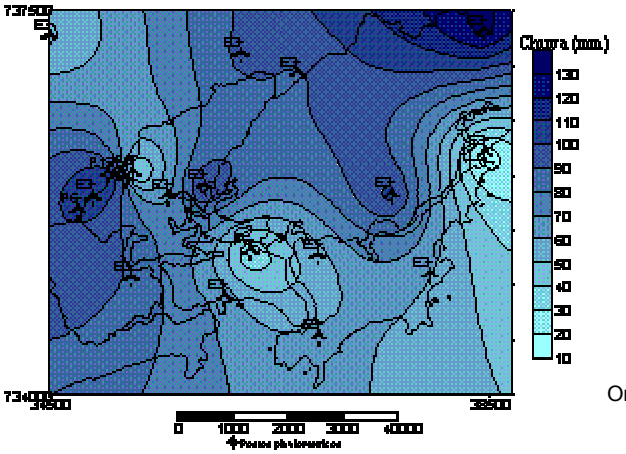


Figura 5. Distribuição espacial dos máximos totais pluviais mensais na Baixada Santista da série 1971-1999.

Assim como os máximos mensais, os totais pluviais máximos de 24 horas e 72 horas são informações fundamentais para o planejamento. A figura 6 representa, respectivamente, a distribuição espacial dos totais pluviais máximos de 24 e 72 horas do período 1971 a 1999. Como era de se esperar, em ambos os casos, a serra é o local que apresenta os maiores totais pluviais de 24 e 72 horas, sendo que eles são ligeiramente inferiores no reverso da serra e mais perto da linha de costa. Os maiores máximos de 24 horas são ligeiramente superiores a 350 mm, e ocorrem nas escarpas e topos da serra do Mar. O fato se repete para os totais de 72 horas, mas aí os montantes de água precipitada são superiores a 550 mm. Tais valores são significativamente elevados, pois o PPDC utiliza como limite de segurança o total acumulado de 72 horas de 100 mm. Ou seja, tanto os totais pluviais máximos de 24 horas quanto os de 72h são muito superiores ao limiar de segurança adotado pelo PPDC. Caso ocorra algum evento desses em áreas de risco ocupadas pode resultar em tragédias e, eventualmente, calamidades públicas. Não se pode prever aqui quando esses eventos ocorrerão, mas deve-se utilizar esses extremos como referência para a prevenção de possíveis desastres, pois são valores reais que acontecem neste trecho do litoral paulista.

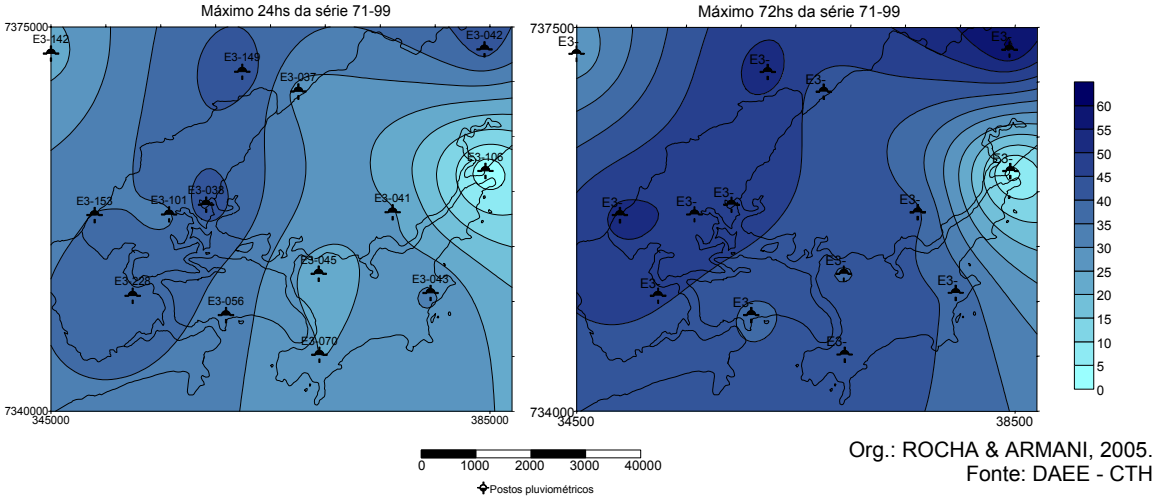
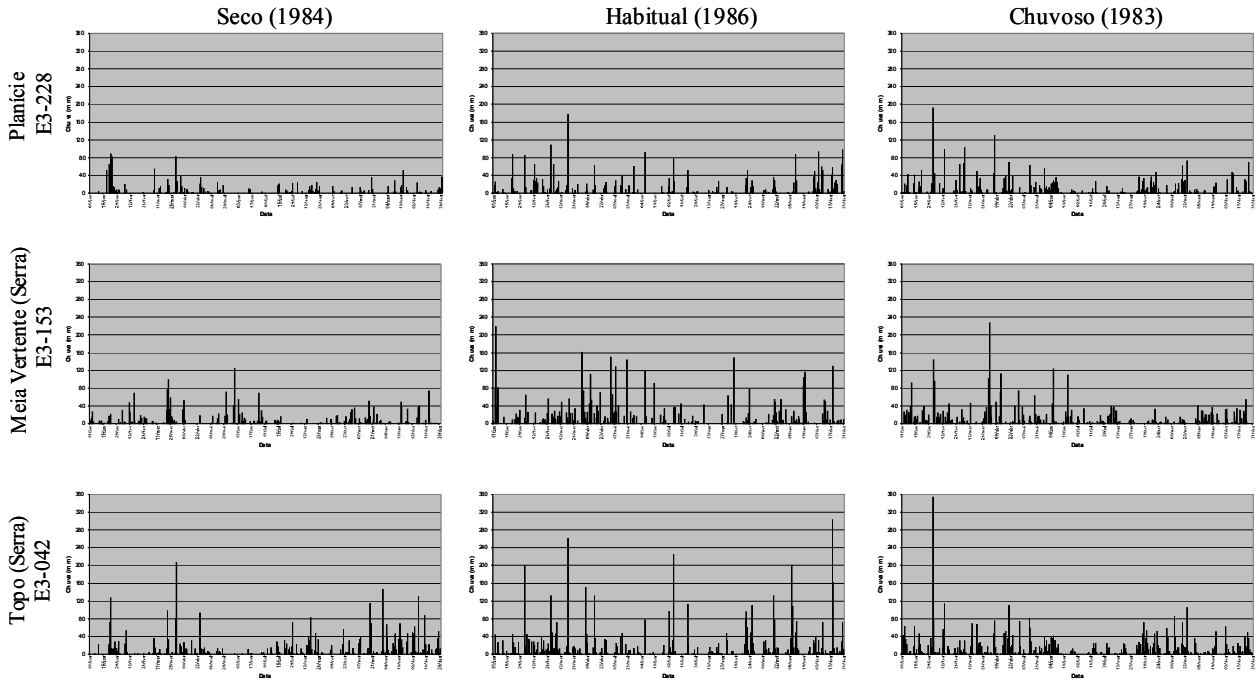


Figura 6. Distribuição espacial dos máximos pluviométricos de 24 horas (esquerda) e de 72 horas (direita) na Baixada Santista da série 1917-1999.

A análise das chuvas diárias em anos padrão (seco, habitual e chuvoso) em três diferentes sítios da Baixada Santista (planície, meia vertente e topo da serra do Mar) foi feita com base nos pressupostos de Monteiro (1971). A figura 7 ilustra essa variação da chuva diária em três diferentes sítios e nos três anos-padrão. O ano-padrão seco (1984) teve, em relação ao habitual, o início da redução nos totais pluviais em fevereiro e que perdurou até

dezembro praticamente. É possível perceber por este conjunto de gráficos que a serra do Mar realmente desempenha um papel importante no aumento do número de dias com chuva e também nos totais, freqüentemente mais elevados que na planície. Entre o topo e a meia-vertente da serra é possível notar que os totais de chuva são muitas vezes mais elevados no topo que na meia vertente, muito embora a serra instabilize a atmosfera produzindo precipitações nas vertentes e não nos topos, sendo isso mais freqüênte no outono e inverno. Esse mesmo ritmo de variação entre os sítios se repete nos anos-padrão habitual e chuvoso. Na verdade o que os diferencia não é propriamente totais diários mais elevados, mais sim um número maior de dias chuvosos, ou seja, o número de dias sem chuva diminui progressivamente do ano seco para o habitual e depois para o chuvoso. Desta forma é inútil classificar um ano, ou mesmo um mês em chuvoso, ou em seco, só pelo total anual e mensal. Em todos esses anos-padrão é interessante perceber que a serra desempenha um papel importante na gênese de chuvas orográficas durante o outono-inverno, período que predominam os sistemas atmosféricos estáveis (STA, SPA, SPC). A instabilização local da atmosfera pela serra produz as chuvas que irão manter a umidade do solo por mais tempo nas vertentes dela, podendo condicionar a instabilização do material alterado pelo aumento da pressão hidrostática, perdendo a coesão e ocasionando os movimentos de massa.



Org.: ROCHA & ARMANI, 2005.
Fonte: DAEE - CTH

Figura 7. Totais diários de chuva em três anos-padrão (seco, habitual e chuvoso) em três diferentes sítios da Baixada Santista (planície, meia vertente e topo da serra do Mar).

Um elemento essencial na compreensão climática dos lugares é a freqüência dos eventos, pois revela o o número de dias que determinado espaço é submetido àquele impacto, neste caso, os totais pluviais. Mais uma vez fica evidente o papel da orografia no incremento dos totais pluviais ou na gênese das chuvas, tanto nos totais de 24 horas quanto nos de 72 (figuras 8 e 9, respectivamente). O maior número de dias sem chuva é próximo da linha de costa, sendo que em direção à serra esse número diminui, ou seja, ocorrem mais dias chuvosos na serra que longe dela. O mesmo fato se repete para as outras classes de pluviosidade representadas. A maior freqüência de totais de chuva elevados sempre ocorre nas nascentes do rio Itapanhaú, diminuindo progressivamente para sudoeste. Tal fato pode estar ligado não só à orografia, como também pela maior freqüência de estacionamento do eixo da FPA neste lugar, no entanto isso ainda precisa ser melhor averiguado.

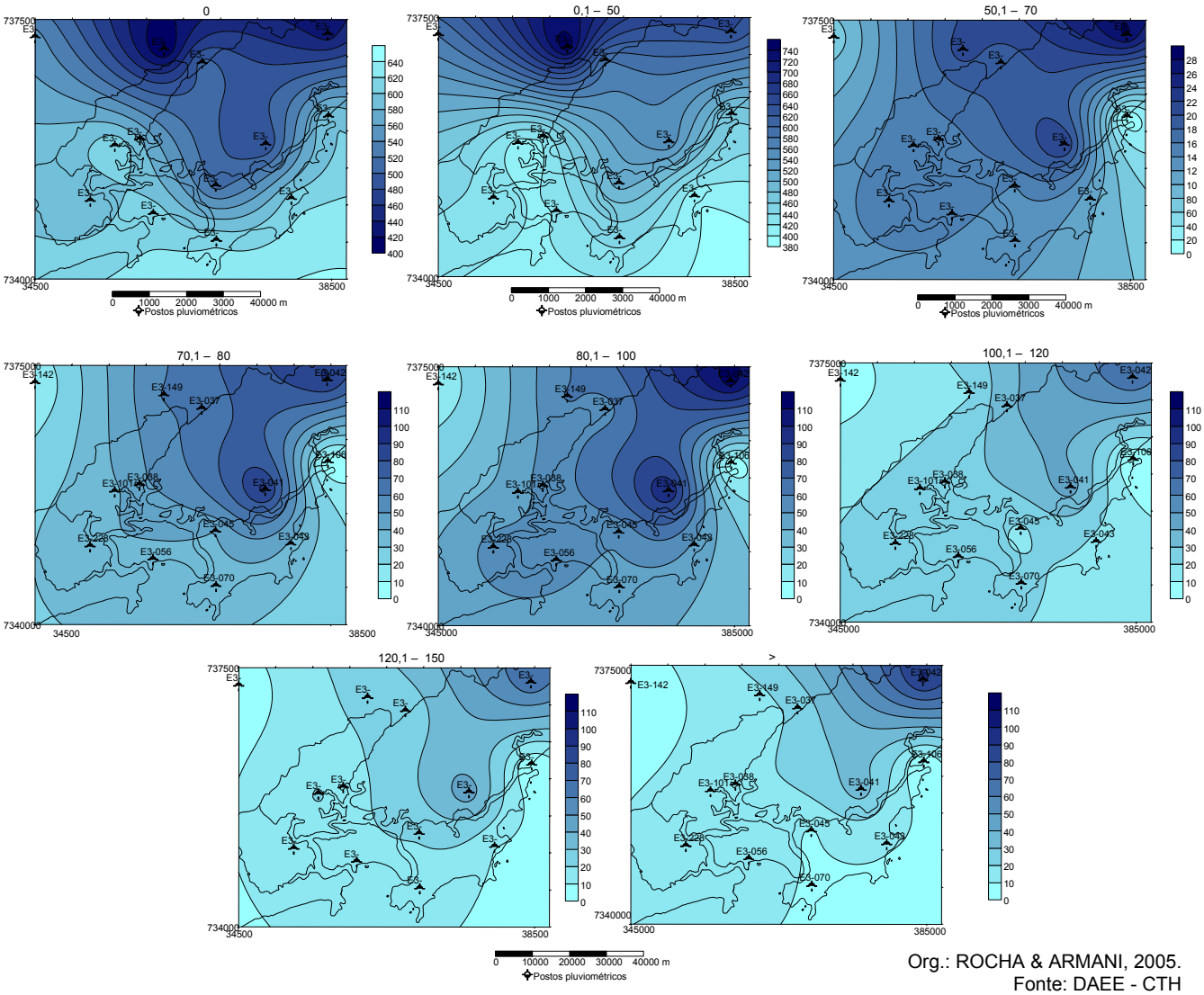
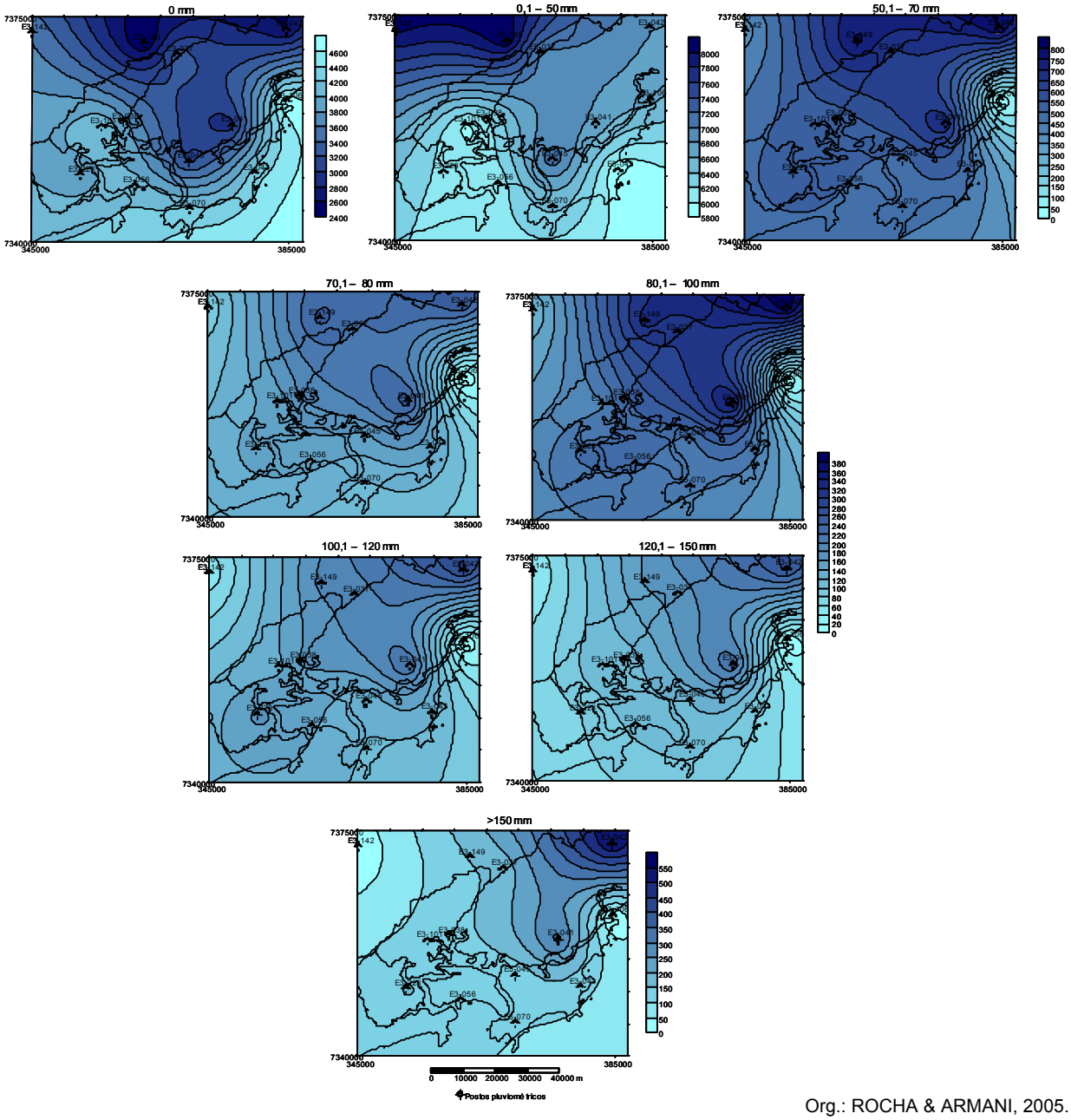


Figura 8. Distribuição espacial da freqüência absoluta (nº de dias) por classes de pluviosidade dos totais de 24 horas na Baixada Santista para a série 1971-1999.



Org.: ROCHA & ARMANI, 2005.
Fonte: DAEE - CTH

Figura 9. Distribuição espacial da freqüência absoluta (nº de dias) por classes de pluviosidade dos totais de 72 horas na Baixada Santista para a série 1971-1999.

A variabilidade pluviométrica representa um importante parâmetro para a caracterização climática do litoral, sendo um dos fatores que compõe a análise de perigo a escorregamentos e risco às pessoas e aos bens (TOMINAGA et al, 2004). As áreas que apresentam alta variabilidade pluviométrica, em tese, estão mais sujeitas a esse perigo, uma vez que a previsibilidade do fenômeno pluvial e sua repercussão no espaço geográfico estão menos sujeitas a acertos.

Analisando a variabilidade pluvial mensal no período mais chuvoso (setembro a maio), novembro e fevereiro apresentam os coeficientes mais altos na média geral (Tabela 2). Em contrapartida, janeiro tem a menor variabilidade entre os postos analisados. No entanto, a média do verão mantém-se na faixa considerada média, entre 40 e 55% de variação mensal. Para este trecho do litoral paulista não foi identificada variabilidade muito alta, como observada no litoral norte (TAVARES et al, 2004).

Tabela 2 – Variabilidade pluvial mensal e média do verão na Baixada Santista

Postos pluviométricos	*Meses*									*Média Verão*
	Set	*Out*	*Nov*	*Dez*	*Jan*	*Fev*	*Mar*	*Abr*	*Mai*	
E3-045										
E3-070										
E3-056										
E3-153										
Variabilidade Pluvial Mensal	Convenções Muito Alta >70% Alta 55,1-70,0% Média 40,0-55,0% Baixa <40%									

Org.: TAVARES, ARMANI & ROCHA (2005)

A Tabela 3 apresenta um panorama das possibilidades de ocorrência de chuvas intensas nos postos, através dos períodos de retorno de precipitação em 24 h. Aponta para um retorno anual das chuvas diárias de 80mm, em todos os postos, e para E3-045, E3-056 e E3-153, até 100mm em 24 horas. Percebe-se também que nos meses de janeiro e fevereiro, há uma alta probabilidade de ocorrência de chuvas concentradas de 100mm/dia em todas as localidades. O posto E3-070 apresenta a menor probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, e E3-153, em Cubatão (na vertente, a 500m de altitude) a maior.

Tabela 3. Período de retorno de precipitação máxima de 70, 80, 100 e 120mm em 24 horas na Baixada Santista (TAVARES, SANT'ANNA NETO e TOMMASELLI, 2003)

Postos Pluviométricos	*Meses*									*Ano*
	Set	*Out*	*Nov*	*Dez*	*Jan*	*Fev*	*Mar*	*Abr*	*Mai*	
E3-045										
E3-070										
E3-056										
E3-153										
Período de retorno de precipitação máxima acumulada em 24h	Convenções Período de retorno de **70mm** Período de retorno de **80mm** Período de retorno de **100mm** Período de retorno de **120mm** Muito alto até 1 ano Alto 1,1 a 5 anos Médio 5,1 a 10 anos Baixo > 10 anos									

Org.: TAVARES & ROCHA, 2005

A Tabela 4 mostra os valores de período de retorno para a seqüência chuvosa de 3 dias, para os totais pluviais de 80, 100, 120 e 150mm, parâmetro importante para a operação do PPDC na Baixada Santista. Observa-se que, para todos os postos, o período de retorno para chuva acumulada de até 150mm em 72 h é anual. Destacam-se os meses de janeiro e março, também com período de retorno elevado para chuvas acumuladas em 3 dias. Convém salientar que o período de retorno é apenas indicação de probabilidade estatística do evento acontecer. Um evento cujo período de retorno calculado é, por exemplo, de 20 anos, pode acontecer em dois anos consecutivamente. Deve-se tomar, portanto, com cautela o uso do período de retorno.

Tabela 4. Período de retorno de precipitação máxima de 80, 100, 120 e 150mm em 72 horas na Baixada Santista (TAVARES, SANT'ANNA NETO e TOMMASELLI, 2003)

Postos Pluviométricos	*Meses*									*Ano*
	Set	*Out*	*Nov*	*Dez*	*Jan*	*Fev*	*Mar*	*Abr*	*Mai*	
E3-045										
E3-070										
E3-056										
E3-153										

Período de retorno de precipitação máxima acumulada em 3 dias

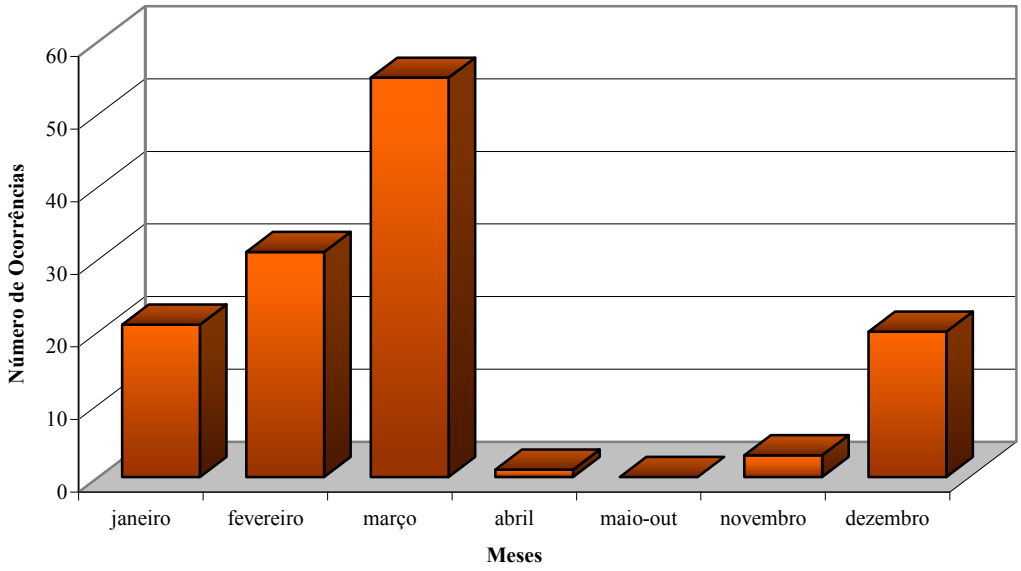
Convenções

- Período de retorno de **80mm**
- Período de retorno de **100mm**
- Período de retorno de **120mm**
- Período de retorno de **150mm**

Muito alto	até 1 ano
Alto	1,1 a 5 anos
Médio	5,1 a 10 anos
Baixo	> 10 anos

Org.: TAVARES & ROCHA, 2005

Pela observação da figura 10 é possível perceber que o maior número de ocorrências registradas de movimentos de massa acontece no período chuvoso, como era de se esperar, pois é o período onde ocorre um maior excedente hídrico, ocasionando a saturação do solo e a conseqüente aumento da pressão hidrostática nele, condicionando a perda de coesão do material. É justamente por isso que em março o número de ocorrências é maior, já que a água vai se acumulando no solo durante o período mais chuvoso. Cabe salientar que isso não é uma regra, pois o ritmo pluvial não é sempre o mesmo ao longo dos anos. Além disso, deve-se salientar que essas ocorrências registradas são aquelas que foram atendidas efetivamente durante a operação do PPDC, e não todas as ocorrências ocorridas efetivamente.

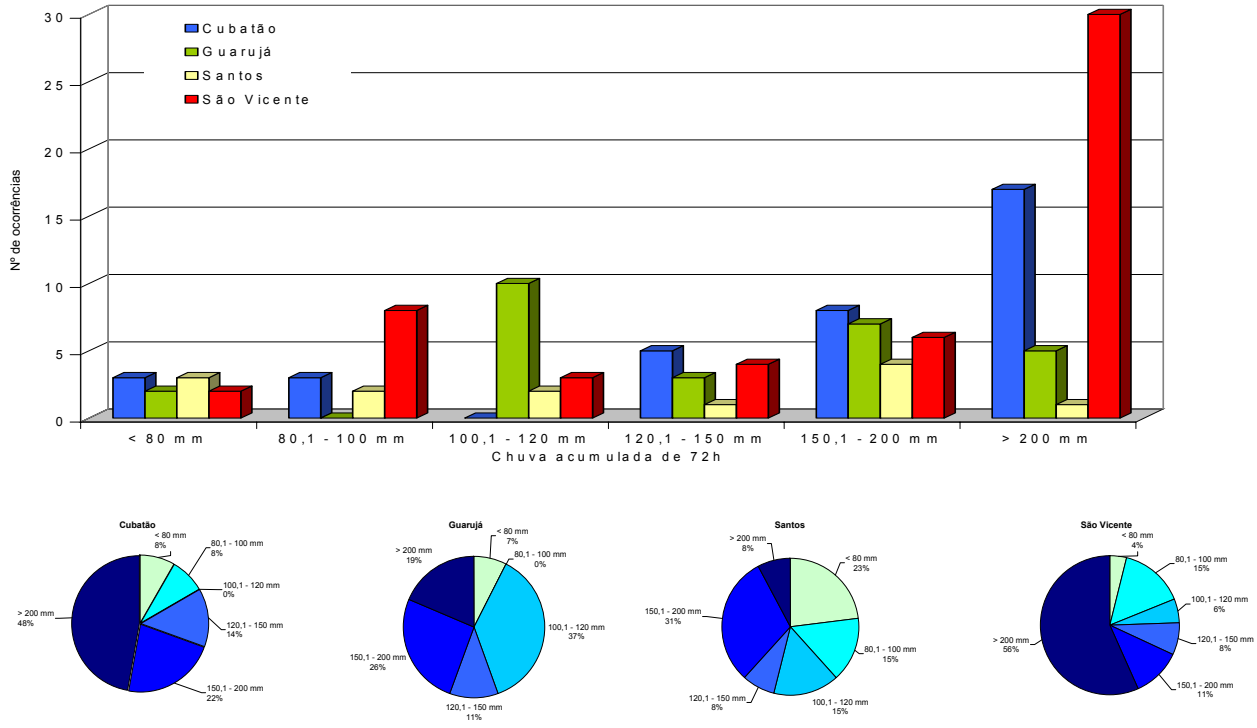


Org.: TAVARES, 2005.

Figura 10. Distribuição mensal do número de ocorrências de movimentos de massa na Baixada Santista

Analisando a chuva acumulada de 72 h durante as ocorrências de movimentos de massa registradas nos diferentes municípios (Figura 11), observam-se diferenças significativas no comportamento entre eles. Os movimentos de massa sob chuva acumulada maior que 200mm/72 horas predominam em Cubatão, representando quase metade dos casos (48%). Não foram registrados escorregamentos entre 100,1 e 120mm de chuva, e o número de ocorrências registradas foi progressivo a partir de 120mm. No Guarujá, pelo contrário, houve predomínio de registros de movimentos de massa entre 100,1 e 120mm (37%), e a partir daí eventos sob totais pluviais superiores. Somente 7% dos casos registrados foram sob chuva acumulada menor que 80mm. O município de Santos apresenta um padrão relativamente homogêneo em termos de distribuição dos eventos pluviais acumulados e a ocorrência de movimentos de massa, não só por representar a localidade da Baixada que teve o menor

número de registros de escorregamentos, mas por estes terem ocorrido sob totais pluviais variados, com ligeiro destaque para as chuvas entre 150,1 e 200mm (31%). São Vicente é o município que registra o maior número de movimentos de massa, sobretudo sob totais pluviais acumulados elevados, acima de 200mm (56% do total). Entre 80,1 e 100mm foram 15% dos casos e somente 4% dos registros de ocorrências foram sob chuva abaixo de 80mm.



Org.: ARMANI, 2005

Figura 11. Distribuição das ocorrências de movimentos de massa por chuva acumulada de 72h nos municípios

Pela figura 12 percebe-se que a maioria dos movimentos de massa ocorrera sob a atuação da Depressão Continental do Chaco (DCC) e da Frente Polar Atlântica (FPA) e suas variações. Isso pode indicar que o ritmo das chuvas nos diferentes sistemas é diferente, sendo que aqueles mais capazes de deflagrar movimentos de massa são estes dois sistemas citados anteriormente.

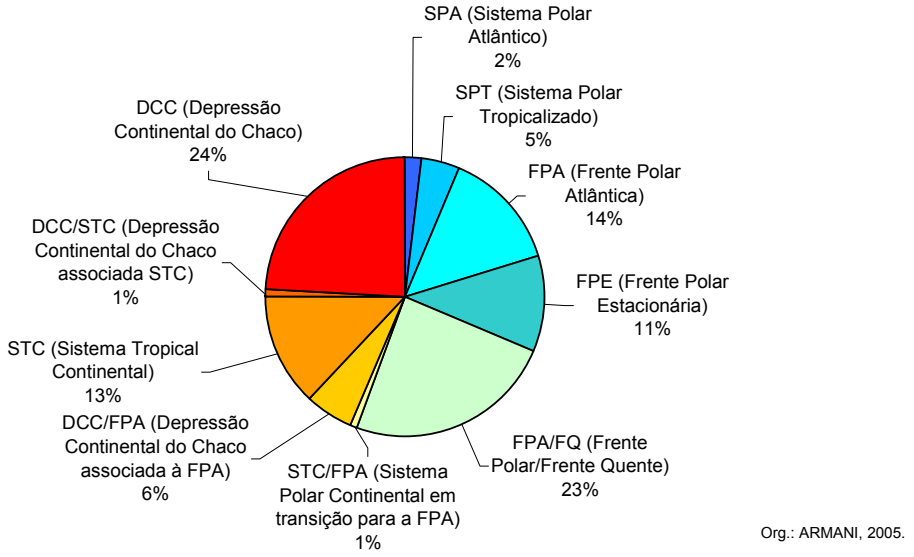


Figura 12. Sistemas atmosféricos atuantes nas ocorrências dos movimentos de massa registrados na Baixada Santista no período 1991-2004.

A análise dos totais pluviométricos de 24 horas e de 72 horas dos dias de dois eventos de escorregamentos revelaram uma distribuição espacial da chuva interessante. O primeiro evento de movimento de massa ocorreu em 06 de fevereiro de 1994. Foram registrados 12 movimentos de massa neste episódio, sendo que sete (7) ocorreram no município de Cubatão, um (1) em Santos e quatro (4) em São Vicente. Foram afetadas cerca de 45 moradias, sem vítimas fatais. E interessante notar pela figura 13 que a área de maior pluviosidade, tanto em 24 quanto em 72 horas foi nas proximidades linha de costa, enquanto que nas vertentes da serra do Mar choveu menos. Os totais pluviais de 72 horas estavam dentro do índice de segurança estabelecido no PPDC neste caso. A chuva deste evento foi provocada por uma Frente Polar Atlântica estacionada e isso explica, em parte, a deflagração dos escorregamentos ocorridos. Ora, a frente polar estava estacionada sobre a área há pelo menos cinco (5) dias, precipitando continuamente pequenos volumes de água. Embora o total de 72 horas não tenha ultrapassado os 100 mm, o acumulado de um período maior que 72 horas pode ter provocado a perda de coesão do material, deflagrando os escorregamentos. Talvez, como uma sugestão para a operação do plano preventivo, seja interessante trabalhar também com a duração e o total acumulado da seqüência chuvosa toda. Aí, neste caso, talvez seja necessário a definição de outro índice crítico para uma seqüência chuvosa superior a 72 horas. O Índice de Oscilação Sul (IOS) nos quatro meses anteriores estavam negativos, oscilando muito próximo de zero (-0,1 em fevereiro/94; -0,3 em janeiro/94; 0,0 em dezembro/93; e -0,2 em novembro/93). Não são valores significativos capazes de justificar isoladamente o episódio de chuvas deste evento, mesmo porque a quantidade de chuva não é diretamente influenciada e somente pelos valores de IOS, sendo que os desvios dos totais de chuva têm origem relacionada em função da posição em que ocorrem os bloqueios atmosféricos.

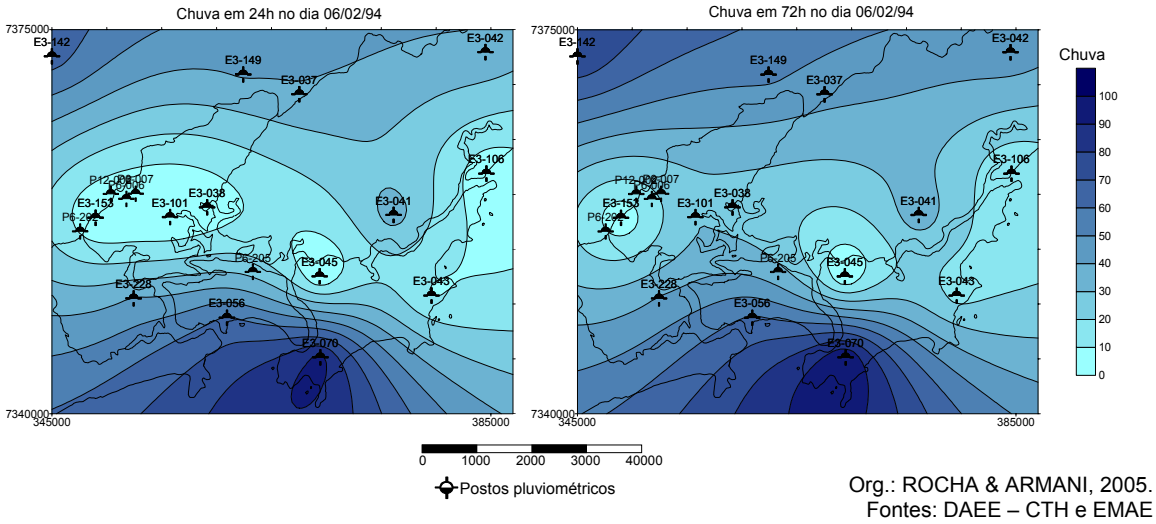


Figura 13. Precipitação acumulada de 24 (esquerda) e 72 horas (direita) de 06/02/1994 na Baixada Santista.

O outro episódio de escorregamento foi o de 11 de março de 1995, onde foram registrados 26 ocorrências somente no município de São Vicente. Quatro (4) crianças foram mortas e 27 moradias afetadas. Assim como no evento analisado anteriormente, chouveu mais na proximidades da linha de costa que na serra do Mar. Neste caso os totais de 24 horas foram superiores a 100 mm nas áreas dos escorregamentos, e o os totais de 72 horas superiores a 200 mm (Figura 14), concordando com o limite estabelecido pelo plano. Nestes casos em que a seqüência de dias chuvosos é curta (até três dias) o índice utilizado pelo PPDC mostra-se satisfatório, muito embora não tenha evitado as mortes e danos materiais. O sistema atmosférico atuante neste ocasião era uma Frente Polar ondulando e recuando como Frente Quente (FQ). Nos dias anteriores à entrada desta frente estava atuando a transição do Sistema Tropical Atlântico para a Frente Polar Atlântica. Os valores de IOS estavam igualmente fracos e negativos nos meses anteriores ao evento.É no mínimo curioso que as chuvas tenham sido mais intensas perto da linha de costa que na serra do Mar. Estudos nesse sentido deveriam caminhar na busca de hipóteses explicativas para tal fato. Levanta-se aqui dus explicações plausíveis: a primeira relacionada a uma trajetória mais oceânica do eixo da FPA, adentrando pouco para o continente e condicionando maiores totais na linha de costa que no interior dele; a segunda relacionada à temperatura elevada da superfície do mar, transferindo maior energia e vapor para a atmosfera acima dele, e intensificando a convecção local.

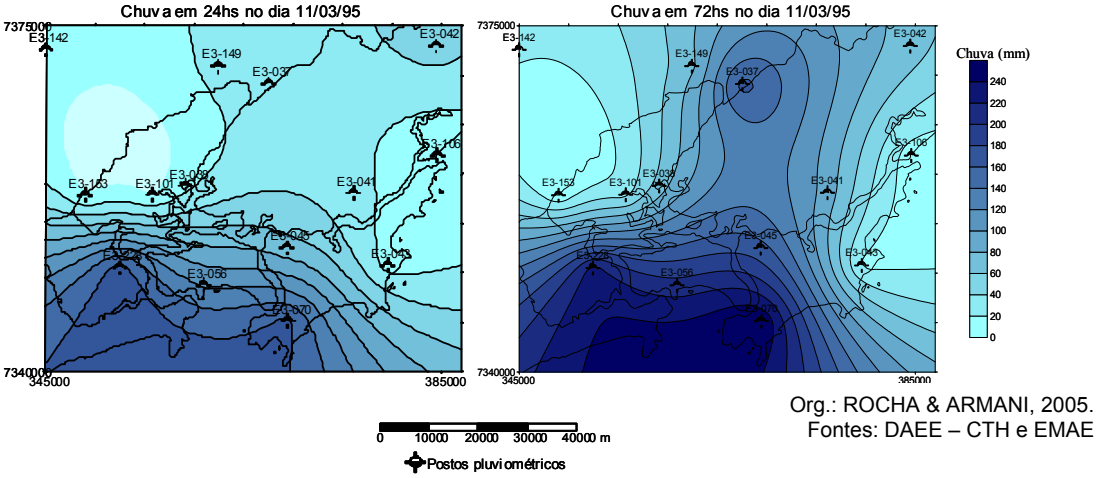


Figura 14. Precipitação acumulada de 24 (esq.) e 72 hs (dir.) de 11/03/1995 na Baixada Santista.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. (2003). Litoral do Brasil. Metalivros, São Paulo. 287p.

ARMANI, G. (2004). Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP. São Paulo, 1v. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

CHOW, V.T. (1953). Frequency of hydrologic data with special application to rainfall intensities. University of Illinois Bulletin, p.50-81.

GUIDICINI, G. e IWASA, O.Y. (1972). Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. IPT, São Paulo. 48p.

MACEDO, E.S.; OGURA, A.T.; SANTORO, J. (1999). Defesa Civil e Escorregamentos: o Plano Preventivo do Litoral Paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, São Pedro, Anais..., ABGE.

MONTEIRO, C. A. de F. (1969). A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil. São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 69p. (Série Teses e Monografia, 1).

MONTEIRO, C. A. de F. (1971). Análise rítmica em climatologia: problemas de atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo, Instituto de Geografia USP, 20p. (Climatologia, 1).

MONTEIRO, C. A. de F. (1973). A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Atlas. São Paulo, Instituto de Geografia/USP. 129p.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1995). As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. Tese de Doutorado. FFLCH/USP, São Paulo, 235p.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1990). Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista. Dissertação de Mestrado. FFLCH/USP, São Paulo, 156p.

SANTORO, J. (2001). Cadastro de Movimentos Gravitacionais de Massa. In: SOUZA, C. R. de G. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro. 1º Relatório Técnico/Processo FAPESP 1998/14.277-2. Instituto Geológico/Fapesp, São Paulo, p. 115-139.

SANTORO, J. (2003). Carta de Inventário de Eventos de Movimentos Gravitacionais de Massa. In: SOUZA, C. R. de G. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro. 3º Relatório Técnico/Processo FAPESP 1998/14.277-2. Instituto Geológico/Fapesp, São Paulo, p. 112-115.

SANTOS, E. de O. (1965) Características climáticas. In: AZEVEDO, A. (Org.) A Baixada Santista.: aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP, v1., p. 95-145 , il.

SÃO PAULO (Estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1976). Estudo geológico- geotécnico de dois conjuntos "Maciço-Túnel" na pista ascendente da Rodovia dos Imigrantes. Relatório nº 9086, IPT (emitido para o DERSA), São Paulo, 3v.

SÃO PAULO (Estado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1988a). Programa Serra do Mar – Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização na Serra do Mar. Relatório nº 25.957,. IPT (emitido para a ELETROPAULO), São Paulo, v. 1, Textos, 112p.

SÃO PAULO (Estado). SMA/SCT (1988b). Instabilidade da Serra do Mar no Estado de São Paulo: situações de risco. SMA/SCT, São Paulo, 4v.

SÃO PAULO (ESTADO) IG/SMA; IPT/SCT (1989). Carta Geotécnica do Município de Guarujá. São Paulo, IG/IPT.

SÃO PAULO (Estado). SMA/CESP (1996). Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo, parte I – Litoral. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, São Paulo, 30p, 7 mapas.

TARIFA, J. R. (1973). Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista. São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 71p. (Série Teses e Monografias, 8).

TARIFA, J. R. (1975).Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo: uma análise quantitativa no processo genético. São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 93p. (Série Teses e Monografias, 19).

TATIZANA, C. et al. (1987a). Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos - Serra do Mar, município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, Anais..., ABGE, v. 2, p. 225-236.

TATIZANA, C. et al. (1987b). Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo, Anais..., ABGE, v. 2, p. 237-248.

TAVARES, R.; SANT'ANNA NETO, J.L.; TOMMASELLI, J.T.G. (2003). Mapa de Unidades Climáticas do Litoral Paulista. In: SOUZA, C. R. de G. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro. 3º Relatório Técnico/Processo FAPESP 1998/14.277-2. Instituto Geológico/Fapesp, São Paulo, p. 57-83, anexos.

TAVARES, R.; SANT'ANNA NETO, J.L.; TOMMASELLI, J.T.G.; PRESSINOTTI, M.M.N.; SANTORO, J. (2004). Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associada aos movimentos de massa no Litoral Norte Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, Florianópolis, Anais..., GEDN-UFSC, p.680-696.

TOMINAGA, L.K.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R.G. (2004). Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do litoral norte do Estado de São Paulo. In: Cartografia geotécnica e geoambiental. Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade, São Carlos, ABGE, p.205-216.